

СОВМЕСТНОЕ И РАЗДЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ И КРЕМНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ

И.И. Ибатуллин¹, М.Ю. Гилязов¹, А.А. Лукманов²

¹Казанский государственный аграрный университет, Казань, РФ,

e-mail:kandidatagrotat@gmail.com

²ФГБУ ЦАС «Татарский», Казань, РФ

Аннотация. Рассмотрены особенности питания растений азотом (N) и кремнием (Si) и условия эффективного применения удобрений, содержащих указанные макроэлементы. Подчеркнута ведущая роль азотных удобрений в современном сельском хозяйстве. Отмечен возможный синергетический эффект совместного действия кремниевых и азотных удобрений. Показано, что теоретически возможны ситуации, когда растения могут нуждаться во внесении кремниевых удобрений без внесения азотных.

Ключевые слова: кремний, азот, сельскохозяйственные культуры, дефицит, почва, удобрение, бинарный посев.

JOINT AND SEPARATE APPLICATION OF NITROGEN AND SILICON FERTILIZERS

I.I. Ibatullin¹, M.Yu. Gilyazov¹, A.A. Lukmanov²

¹Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia,

e-mail:kandidatagrotat@gmail.com

²FGBU CAC "Tatarsky", Kazan, Russia.

Annotation. The features of plant nutrition with nitrogen (N) and silicon (Si) and conditions of effective application of fertilizers containing these macronutrients are considered. The leading role of nitrogen fertilizers in modern agriculture is emphasized. The possible synergetic effect of joint action of silicon and nitrogen fertilizers is noted. It is shown that there are theoretically possible situations when plants may need silicon fertilizers without nitrogen fertilizers.

Keywords: silicon, nitrogen, crops, deficiency, soil, fertilizer, binary sowing.

Введение. С давних времен перед человеком стоит задача повышение плодородия почв и получение высоких урожаев. Для этого можно использовать различные методы: известкование кислых почв [1], гипсование солонцов и солончаков [2], разные способы обработки почв [3], использование биопрепаратов [4], научно обоснованные севообороты [5], реабилитацию загрязненной земель [6] и другие. Самый распространенный и действенный прием – применение удобрений [7]. Удобрения могут быть минеральными, органическими, органоминеральными и ежегодно их номенклатура пополняется [8]. Среди всех удобрений наиболее востребованы минеральные удобрения [9], поскольку согласно теории минерального питания Либиха, растения поглощают питательные вещества именно в минеральной форме. Более всего растениям необходимы макроэлементы, ввиду того, что их содержание в живых клетках максимально (рисунок 1).

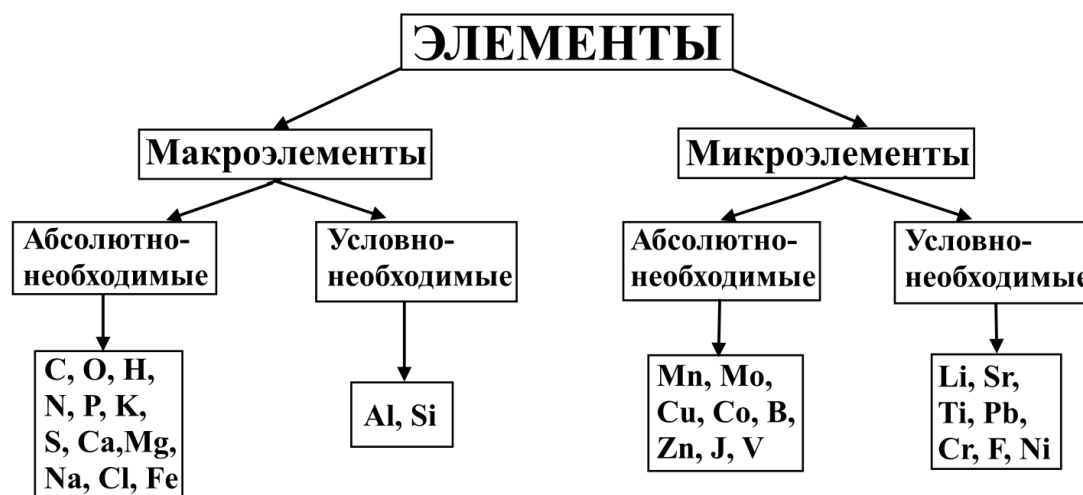


Рисунок 1 Абсолютно- и условно-необходимые элементы для растений.

Самый распространенный элемент во Вселенной – водород, на Земле – кислород, в растениях (по сухому веществу) – углерод. Однако ни один из этих элементов не вносят в качестве удобрений, так как растения способны их получить естественным путем благодаря физическим и биохимическим процессам: дыханию и фотосинтезу. Исключая эту великую тройку, следующим по значимости элементом считается азот.

Азот является важнейшим минеральным элементом и присутствует в составе фундаментальных соединений (аминокислот, нуклеиновых кислот, хлорофилла, цитокинов, полиаминов и вторичных метаболитов), необходимых для биологического цикла растений [10]. Он участвует в многочисленных реакциях, протекающих в воздухе, почве и воде, и претерпевает различные химические и биологические трансформации (рисунок 2).

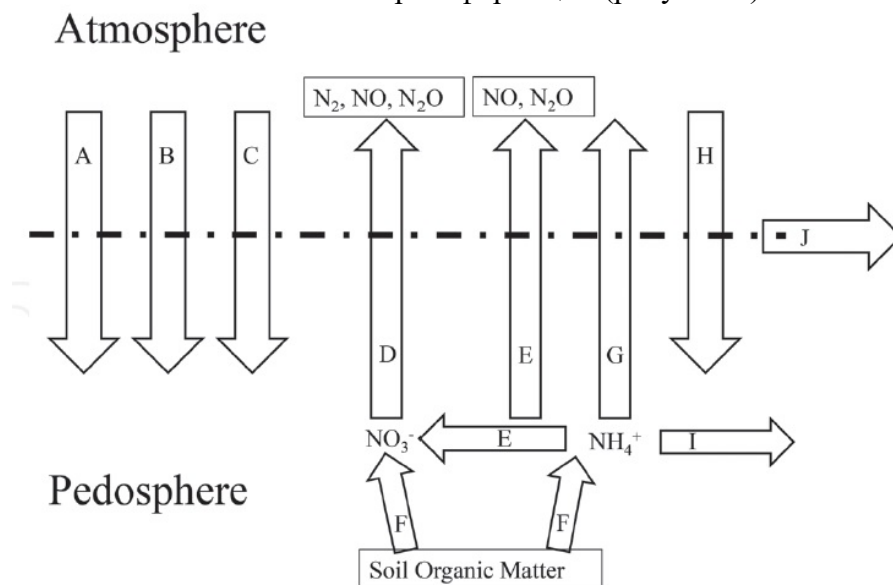


Рисунок 2 Цикл превращений азота между атмосферой и почвой.

Примечание: (А) осаждение N; (В) фиксация N; (С) удобрение почвы; (D) денитрификация; (Е) нитрификация; (F) органическая азотная минерализация; (G) поглощение растениями; (H) разложение растительных остатков; (I) иммобилизация в почве; (J) улетучивание N, вымывание и сбор урожая [11].

N трансформируется в сельскохозяйственных почвах в результате таких процессов, как минерализация, нитрификация, денитрификация (рисунок 3).

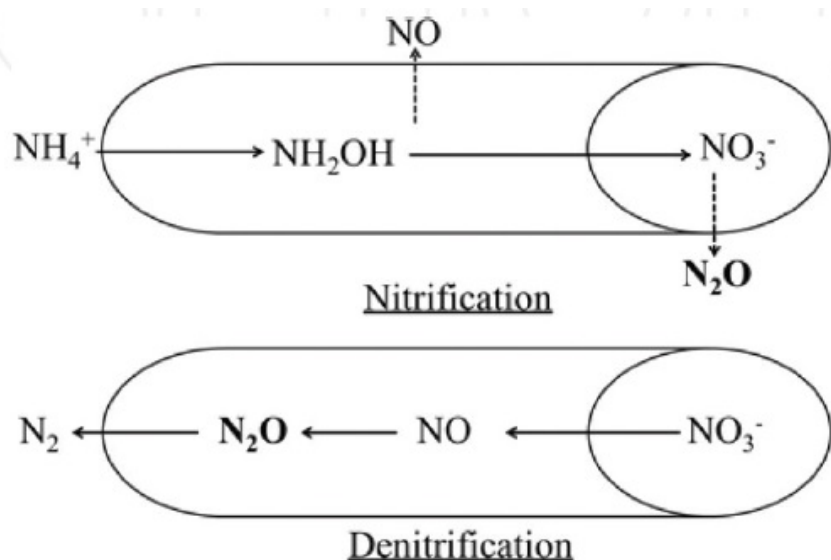


Рисунок 3 Процессы трансформации азота в почве [12].

Азот, полученный в процессе минерализации, включая аммонийную и нитратную формы, является легкодоступным для сельскохозяйственных культур. При отсутствии вымывания весь доступный азот поглощается корнями растений и используется для роста. Однако это идеальный случай. В реальности аммонийный и нитратный N подвергается процессам нитрификации и денитрификации, вызывая потери азота, в результате чего формируется новый баланс между различными компонентами N [13].

Нитрификация – биологический процесс превращения аммонийного азота сначала в нитриты, а затем в нитраты в аэробных условиях.

Денитрификация – это процесс обратный нитрификации. Во время денитрификации бактерии превращают нитрат в промежуточные газообразные соединения азота (N_2 , N_2O , NO, NO_2), которые улетучиваются в атмосферу.

Поэтому запасы азота в почвах нуждаются в регулярном пополнении [14]. Универсальный способ пополнения азота – это внесение минеральных азотных удобрений в различных формах [15].

Азотные удобрения разделяются на нитратные, аммонийные, амидные, аммиачно-нитратные, комплексные.

Аммонийные удобрения – форма азотных удобрений, в которых азот содержится в виде аммонийной группы NH_4^+ . К ним относятся сульфат аммония, хлорид аммония, карбонат аммония и др.

Нитратные удобрения – форма азотных удобрений, в которых азот содержится в виде нитрат-иона NO_3^- . К ним относятся натриевая селитра, кальциевая селитра и др.

Амидные удобрения – форма азотных удобрений, в которых азот содержится в виде аминогруппы NH_2^+ . К ним относятся мочевины (карбамид), цианамид кальция и др.

Аммиачно-нитратные удобрения содержат в своем составе и аммонийную и нитратную группы. К ним относятся аммиачная селитра, сульфонитрат аммония и др.

Комплексные удобрения – удобрения, содержащие несколько питательных элементов: азот и другие макроэлементы (прежде всего азот в сочетании с фосфором, калием). К ним относятся аммофос, аммофоска, калийная селитра и др.

Помимо собственно азотных удобрений представляет интерес его комбинация и совместное внесение с другими элементами. Это может дать положительный эффект, например, при оптимизации калийного режима почвы [16].

Если взаимодействие азотных удобрений с удобрениями из абсолютно-необходимых макроэлементов изучено хорошо, то исследований сочетания с условно-необходимыми макроэлементами (Al, Si) произведено значительно меньше. Что касается алюминия, то он становится

токсичным при достижении концентрации 1 мг/л воды, что значительно ниже порога фитотоксичности других элементов. Избыток алюминия в почве приводит к поражению листьев многих растений и к понижению урожайности, особенно на кислых почвах. Поэтому крайне редко возникает необходимость во внесении Al в почву, тем более в сочетании с азотными удобрениями.

Что касается второго условно-необходимого макроэлемента кремния, то картина наблюдается иная по сравнению с алюминием. Si занимает второе по распространенности место в земной коре после кислорода. Большинство соединений кремния инертно, играют структурообразующую роль в формировании скелета почвы и представляют собой диоксид кремния (прежде всего кремнезем) и силикаты. Однако растения усваивают биодоступные формы кремния, которых в почве значительно меньше [17]. При дефиците Si в доступной форме его вносят в виде кремнийсодержащих пород или кремниевых удобрений [18].

В отличие от абсолютно-необходимых макроэлементов, которые вносят самостоятельно при их дефиците в почве, кремниевые породы и удобрения вносят дополнительно к основному азотсодержащему фоновому удобрению. Это объясняется тем, что азот необходим для построения жизненно необходимых структур клетки, в частности аминокислот и нуклеиновых кислот, и отсутствие N в почве нельзя заместить другими элементами. Роль кремния в растениях также весьма важна, но больше сводится к защитным функциям и адаптации к абиотическим стрессам. Кроме того, исследователи отмечают, что активные формы Si усиливают действие минеральных удобрений, в частности азотных [19]. Симбиотический эффект совместного действия кремниевых и азотных удобрений может объясняться влиянием активных форм Si на баланс и содержание N. При внесении кремнезема усиливается процесс нитрификации за счет воздействия на почвенные микроорганизмы, прежде всего на популяцию аммонификаторов [20]. Кроме того, кремнийсодержащие породы и удобрения могут повышать адсорбционную способность почв по отношению к подвижным формам азота. Показано, что губительное влияние высоких концентраций почвенных нитратов на растения можно уменьшить внесением кремниевых удобрений [21].

С научной точки зрения интересен вопрос, существует ли такая ситуация, когда для получения высокого урожая требуется внести кремниевое удобрение и не вносить азотное? Для ответа нужно взглянуть на эту ситуацию с двух сторон.

Во-первых, в почве не должна наблюдаться нехватка азота в течение всего периода вегетации с учетом его выноса культурой и предшественником [22]. Наиболее благоприятная ситуация с накоплением N наблюдается при выращивании бобовых культур и в севооборотах с чистым паром в качестве предшественника [23]. Необходимость внесения азотных удобрений, безусловно, зависит и от биологических особенностей культуры: особенно сильно нуждаются в азоте зерновые и пропашные культуры.

Во-вторых, возделываемая культура должна быть восприимчива к кремнию и испытывать его недостаток при росте и развитии. Растения, активно поглощающие Si из почвы, называются кремнефилами. У них содержание в листьях Si составляет в районе 2%, тогда как у большинства растений – всего 0,25% [24]. Известно, что из культурных растений к кремнефилам относятся рис, сахарный тростник и злаки. Напротив, двудольные растения (картофель, гречиха, клевер, бобовые) выносят его из почвы значительно меньше. Что касается почв, то дефицит Si наблюдается в песчаных, дерново-подзолистых и деградированных почвах.

Касательно почв, то песчаные или дерново-подзолистые почвы после чистого пара создают условия для внесения в большей мере кремниевых удобрений и в меньшей мере азотных.

Однако возникает сложность с сочетанием обоих перечисленных выше условий применительно к растениям. Например, злаковые культуры зависят и от кремния, и от азота, в то время как бобовые культуры мало выносят Si и получают N за счет биологической фиксации клубеньковыми бактериями [25]. По сравнению с другими бобовыми азотфиксирующими культурами соя более восприимчива к кремневым препаратам [26]. Поэтому в теории может сложиться такая ситуация, что при выращивании сои в деградированной дерново-подзолистой почве после пара может потребоваться внесение кремниевых удобрений без внесения азотных.

Другой путь – применение бинарных посевов, которые активно изучают татарстанские ученые [27]. Примером может служить совместный посев злаковых и бобовых культур (например, пшеница и вика или ячмень и горох). В этом случае, если указанные растения выращивать на дерново-подзолистой или песчаной почве после паровой обработки, то в земле должно быть достаточное количество азота (после пара и за счет биологической азотфиксации бобовыми) и дефицит кремния, к которому чувствительны кремнефильные злаковые культуры. Тогда теоретически складывается такая ситуация, что можно обойтись без внесения азотного удобрения при внесении кремниевое.

Но это все теория, на практике содержащие Si удобрения применяются редко, а уж отдельно от азотных и того реже в исключительных случаях, описанных выше. Но эти экстраординарные случаи тоже нужно иметь в виду и быть готовыми, если все же они наступят.

Библиографический список

1. Коварство кислых почв и пути решения вопросов их известкования / А. И. Осипов, Н. Ф. Губайдуллин, А. А. Лукманов, Р. М. Миннуллин // Сборник научных трудов Отделения сельскохозяйственных наук. Том Выпуск 10. – Санкт-Петербург: Северная Звезда, 2023. – С. 41-49. – EDN VCYFKA.
2. Гилязов, М. Ю. Продолжительность действия химической мелиорации техногенных солонцов-солончаков Республики Татарстан на урожайность сельскохозяйственных культур / М. Ю. Гилязов, А. А. Смирнов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства продукции сельского хозяйства : Материалы международной научно-практической конференции Казанского ГАУ, посвященной 95- летию агрономического факультета, Казань, 15–16 мая 2014 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2014. – С. 39-42. – EDN SSEFBS.
3. Тагиров, М. Ш. Влияние способов основной обработки почвы на ее биологическую активность / М. Ш. Тагиров, Р. С. Шакиров, И. Г. Гилаев // Повышение эффективности АПК в современных условиях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня основания ТатНИИСХ, Казань, 02–03 июля 2015 года. – Казань: ООО "Центр инновационных технологий", 2015. – С. 428-433. – EDN VHDQFR.
4. Галаветдинов, С. М. Урожайность яровой пшеницы на светло-серой лесной почве в зависимости от способов и сроков использования препарата «Биополимик» / С. М. Галаветдинов, М. Ю. Гилязов, А. А. Лукманов // Циркулярная экономика в сельском хозяйстве: международный опыт для Республики Татарстан : Сборник трудов по материалам круглого стола в рамках итоговой коллегии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан, Казань, 24–25 февраля 2022 года. – Казань, Казанский ГАУ: Казанский государственный аграрный университет, 2022. – С. 46-55. – EDN MSPFFS.
5. Почвозащитные севообороты и методика расчета их продуктивности (на примере ООО «Эконом») / Ф. Н. Сафиоллин, А. А. Лукманов, А. З. Каримов [и др.] // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова Азата Шаеховича, Казань, 29 марта 2023 года. – Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 50-58. – EDN RRDLRB.
6. Гилязов, М. Ю. Технологии реабилитации нефтезагрязненных земель агроэкологическими приемами / М. Ю. Гилязов, А. Р. Равзутдинов // Актуальные вопросы использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : СБОРНИК ТРУДОВ ВСЕРОССИЙСКОЙ (НАЦИОНАЛЬНОЙ) НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ КАФЕДРЫ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРОВ КАЗАНСКОГО ГАУ, Казань, 21 апреля 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 69-74. – EDN EJSINY.

7. Лукманов, А. А. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Предволжье Республики Татарстан: специальность 06.01.04 "Агрохимия": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Лукманов Анас Ахтямович. – Москва, 2011. – 26 с. – EDN QHIGOX.

8. Авторское свидетельство № 1627538 А1 СССР, МПК C05F 11/02. Способ получения органоминерального удобрения: № 4345840: заявл. 18.12.1987: опубл. 15.02.1991 / С. П. Гисматуллина, М. Ю. Гилязов, Т. Х. Ишкаев [и др.] заявитель ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. – EDN IUNEWB.

9. Яхин, И. Ф. Эффективность применения расчетных норм минеральных удобрений и орошение гибридной кукурузы Росс 140 СВ на серых-лесных почвах Республики Татарстан / И. Ф. Яхин, Р. Х. Габитов // Биологические препараты и приемы биологизации в современном земледелии : Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, Казань, 23–24 ноября 2023 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. – С. 233-240. – EDN VYDXEV.

10. Yadav MR, Kumar R, Parihar CM, Yadav RK, Jat SL, Ram H, Meena RK, Singh M, Birbal M, Verma AP, Kumar U, Ghosh A, Jat ML. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews*. 2017; 38(1): P.29-40.

11. Amanullah, and Shah Fahad, eds. 2018. Nitrogen in Agriculture - Updates. InTech. 250 p.

12. Mosier AR, Zhaoliang Z. Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequences for N₂O emissions from agricultural systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2000; 57(1): P.107-117.

13. Zhu T, Zhang J, Cai Z. The contribution of nitrogen transformation processes to total N₂O emissions from soils used for intensive vegetable cultivation. *Plant and Soil*. 2011; 343(1-2): P.313-327.

14. Давлятшин, И. Д. Содержание общего азота и подкормка азотом под планируемую урожайность яровой пшеницы в лесостепи / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов // Плодородие почв России: состояние, тенденции и прогноз : Материалы международной конференции (К 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Тамары Никандровны Кулаковской), Москва, 26–27 ноября 2019 года / Под редакцией В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. – С. 81-86. – DOI 10.25680/VNIIA.2019.17.69.041. – EDN DAOTAJ.

15. Шайхутдинов, Ф. Ш. Изучение различных форм азотных удобрений при выращивании яровой пшеницы в условиях Предкамья Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Л. В. Галияхметов // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 23-25. – EDN MUREON.

16. Оптимизация калийного режима почвы как фактор повышения эффективности азотных удобрений / С. Г. Муртазина, И. А. Гайсин, А. С. Билалова [и др.] // Эколого-агрохимические, технологические аспекты развития земледелия Среднего Поволжья и Урала : тезисы докладов конференции, посвященной 75-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанской государственной сельскохозяйственной академии, Казань, 01 января – 31 1995 года / Академия наук Республики Татарстан. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 1995. – С. 66-67. – EDN XWDRFT.

17. Козлов, А. В. Роль кремния и кремнийсодержащих материалов в поддержании устойчивого функционирования системы почва-растение / А. В. Козлов, А. Х. Куликова // Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны : Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, Белгород, 15–22 августа 2016 года / Ответственные редакторы: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Том Часть II. – Белгород: Издательский дом "Белгород", 2016. – С. 153-154. – EDN YJQVGN.

18. Гарафутдинова, К. Р. Продуктивность ячменя при применении кремнийсодержащего органоминерального удобрения / К. Р. Гарафутдинова, Г. Ф. Рахманова, Р. Р. Сафина // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения

: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Майкоп, 08–10 ноября 2023 года. – Майкоп: Издательство "Магарин О.Г.", 2023. – С. 126-129. – EDN QIKIME.

19. Guo B., Lou Y., Liang Y., Zhang J., Hua H., Xi Y. Effects of nitrogen and silicon applications on the growth and yield of rice and soil fertility // Chinese J. of Ecology. 2004, V. 6. P. 33-36.

20. Кинтаналья, М.Г. Влияние разового внесения кремнийсодержащего шлама на свойства темно-каштановых почв под рисом на юге Украины: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук с.-х. наук. М.: Унив. дружбы народов, 1987. – 17с.

21. Mitsui N., Takaton H. Nutritional study of silicon in graminaceous crops // Soil Sci. Plant-Nutr., 1963, V. 9 (9). P. 49-50.

22. Изменчивость хозяйственного и нормативного выноса питательных веществ ярового ячменя под действием различных препаратов / Д. Т. Миникаев, М. Ю. Гилязов, Е. А. Прищепенко, Р. Р. Газизов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 249, № 1. – С. 118-124. – DOI 10.31588/2413 4201 1883 1 249 118. – EDN IUNMZF.

23. Миникаев, Р. В. Сравнительная эффективность звеньев севооборотов с чистыми и занятыми парами на серой лесной почве в условиях Предкамья Республики Татарстан специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Миникаев Рагат Вагизович. – Казань, 1995. – 15 с. – EDN ZJYMEF.

24. Takahashi E., Ma J.F. The possibility of silicon as an essential element for higher plants // Com. Agric. and Food Chem. 1991, V. 2. № 3. P. 188-194.

25. Каримов, Х. З. Влияние некорневой подкормки препаратом ЖУСС-2 на эффективность работы клубеньковых бактерий на посевах сои / Х. З. Каримов, Р. В. Миникаев, Р. П. Ибатуллина // Агрохимический вестник. – 2015. – № 6. – С. 32-34. – EDN UYCRYH.

26. Волкова, А. С. "Нанокремний" и продуктивность сои в условиях центральной зоны Краснодарского края / А. С. Волкова, А. А. Мнатсаканян, Г. В. Чуварлеева // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: Материалы V международной научно-практической конференции, Симферополь, 05–09 октября 2020 года / Научный редактор В.С. Паштецкий. – Симферополь: Ариал", 2020. – С. 25-27. – DOI 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-7. – EDNVEMMTP.

27. Нафиков, М. М. Одновидовые и бинарные посевы кормовых культур в Республике Татарстан / М. М. Нафиков, А. Р. Нигматзянов, Р. А. Мингазов // Актуальные вопросы кормопроизводства. Состояние, проблемы, пути решения: Сборник научных трудов Национальной научно-практической конференции, посвящённой памяти Заслуженного деятеля науки РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ельчаниновой Надежды Николаевны, Кинель, 18 июня 2019 года. – Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 68-72. – EDN YUOPVL.